

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

## 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年： 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约

简平<sup>1)</sup> 刘敦一<sup>1)</sup> 孙晓猛<sup>2)</sup>

1) 中国地质科学院地质研究所,北京,100037; 2) 吉林大学应用技术学院,长春,130022

**内容提要** 本文应用 SHRIMP 方法精确测定了金沙江蛇绿岩带中蛇绿岩的辉长岩和斜长岩、呈脉状产于辉长岩和变质橄榄岩中的斜长花岗岩、以及呈岩株状侵入蛇绿岩中的花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄,提供了古特提斯洋壳演化的年代学制约。滇西之用层状角闪辉长岩的年龄为  $328 \pm 8\text{Ma}$ ,书松斜长岩为  $329 \pm 7\text{Ma}$ ,白马雪山辉长岩为  $282 \sim 285\text{Ma}$ ,它们可能反映了海底扩张不同阶段的时代。研究还表明,在这些辉长岩和斜长岩中,部分锆石记录了  $375 \sim 352\text{Ma}$  的略老的年龄,暗示蛇绿岩浆活动可能始于晚泥盆世。在金沙江蛇绿岩中,滇西娘九丁斜长花岗岩和川西雪堆斜长花岗岩,具有高硅低钾的成分特征。但是,这些岩石的 REE 总量高, LREE 富集; Sr 初始值高,达  $0.7058 \sim 0.7070$ ; 在其锆石组成中,存在继承锆石。这些证据表明斜长花岗岩中存在陆壳物质的混染,可能与洋壳俯冲消减有关。娘九丁斜长花岗岩的年龄为  $285 \pm 6\text{Ma}$ ,雪堆斜长花岗岩为  $300 \pm 5\text{Ma}$ ,记录了古特提斯洋壳俯冲消减事件。滇西吉义独花岗闪长岩,呈岩株状侵入蛇绿岩中,年龄为  $263 \pm 6\text{Ma}$ ,限定了蛇绿混杂岩的年代上限。

**关键词** 金沙江 蛇绿岩 SHRIMP 测年 锆石

金沙江蛇绿岩带沿金沙江展布,大地构造位置夹持于中咱地块和昌都地块之间,向南可与哀牢山蛇绿岩对比。一般认为,金沙江—哀牢山洋盆,分隔扬子微大陆与亲扬子的昌都—思茅地块,是古特提斯洋盆的一个重要分支(张旗等,1992; Ian Metacalf, 1996; 钟大赟, 1998),位于其西的昌宁—孟连洋盆则是古特提斯主洋盆(图 1b)。

金沙江蛇绿岩已遭受强烈的构造肢解,没有完整的蛇绿岩层序。蛇绿岩主要由蛇纹石化超镁铁质岩(主要是方辉橄榄岩,少量为二辉橄榄岩)、超镁铁质堆晶岩(辉石岩、纯橄岩)、辉长岩类、辉绿岩墙群、洋脊型玄武岩及含放射虫硅质岩组成,它们与被肢解的泥盆纪、石炭纪和二叠纪灰岩岩块及绿片岩构成蛇绿混杂岩(潘桂棠等,1997)。

金沙江蛇绿岩主要产于嘎金雪山群内,这套地层由一套半深水陆坡相变质碎屑岩复理石建造夹基性火山岩、外来块体的灰岩、和半深水—浅水陆棚相碳酸盐岩夹火山岩组成,其中含有石炭—二叠纪的化石(Wang et al., 2000)。新近的研究表明,嘎金雪山群内变玄武岩锆石 U-Pb 年龄为  $296 \sim 362\text{Ma}$ ,时代在石炭纪的范畴,其岩石地球化学特征反映出

当时该区的构造环境为弧后裂陷盆地。其上,为晚三叠世甲丕拉组磨拉石建造角度不整合覆盖。区域上大规模出露印支期花岗岩,侵入于嘎金雪山群中(图 1a)。

研究表明,金沙江古特提斯洋盆经历了大陆裂解、海底扩张、俯冲消减及碰撞造山的演化过程,它可能始于晚泥盆世或早石炭世,终于晚三叠世(钟大赟, 1998)。但是,这些重大地质事件的年代格架,尚缺乏同位素年代学制约。

20 世纪 80 年代以前,一般认为金沙江古特提斯洋盆形成于晚石炭世(黄汲清等, 1984)。近年来,在金沙江蛇绿岩带及相关地层中,发现了自早石炭世至晚二叠世的放射虫化石(吴浩若, 1993; 孙晓猛等, 1995); 简平等(1999)对金沙江蛇绿岩带进行过同位素地质年代学研究,提出了金沙江古特提斯洋盆的海底扩张始于早石炭世,可能延至晚石炭世的新观点。

本文应用 SHRIMP 方法精确地测定了金沙江蛇绿岩带中蛇绿岩的辉长岩和斜长岩、呈脉状产于辉长岩和变质橄榄岩中的斜长花岗岩、以及呈岩株状侵入蛇绿岩的花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄,对海

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 49902005)资助的成果。

收稿日期:2002-12-10; 改回日期:2003-01-23; 责任编辑:郝梓国。

作者简介:简平,男,1964年生。1985年、1988年分别获得中国地质大学硕士、博士学位。现在中国地质科学院地质研究所工作,任研究员,主要从事同位素年代学研究。通讯地址:100037,北京市百万庄 26 号,中国地质科学院地质研究所; Email: Jianping-510@yahoo.com。

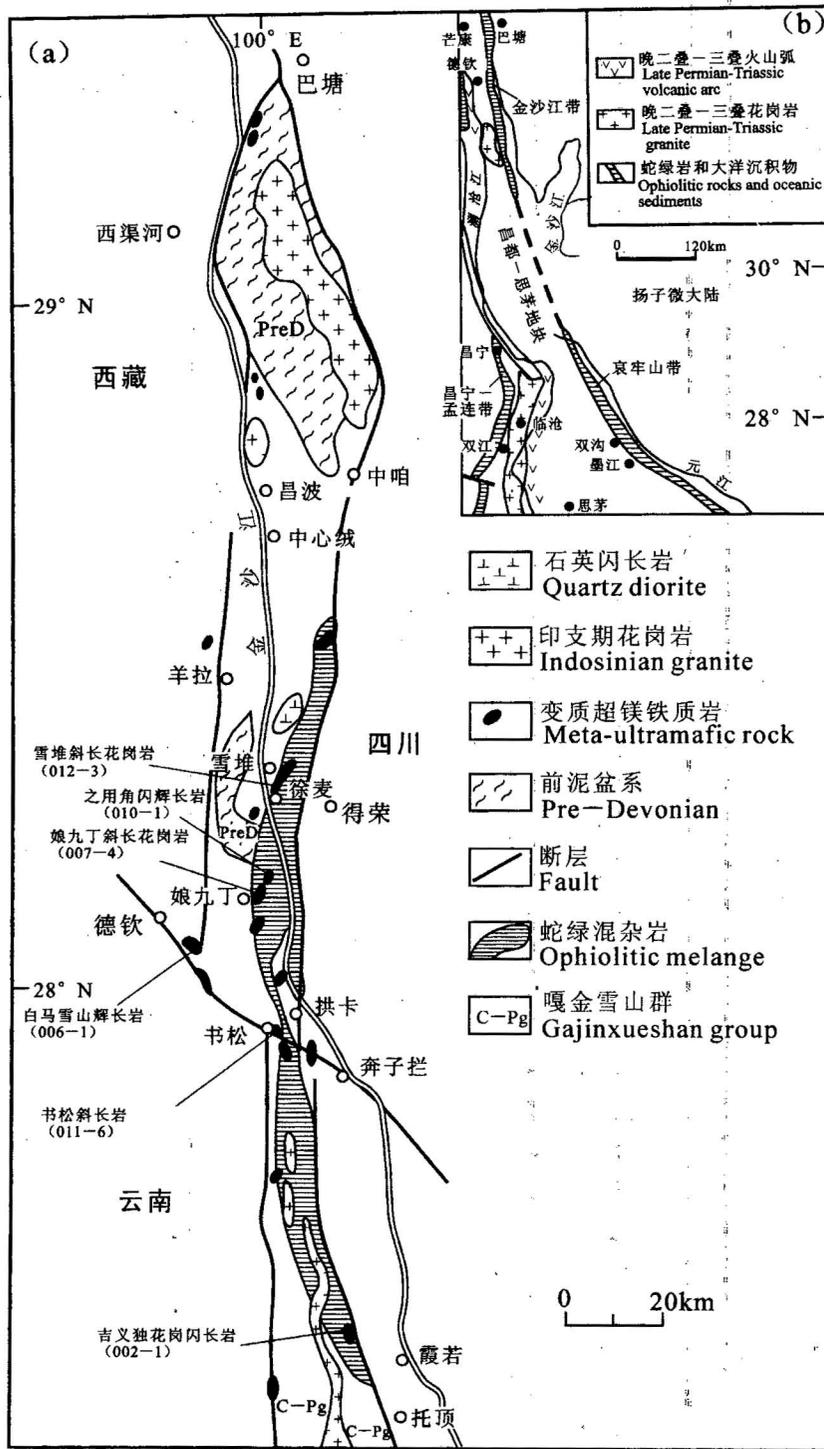


图1 金沙江蛇绿岩分布略图,示采样位置(a)和研究区位置(b)

Fig.1 Geological sketch map of the Jinshajiang ophiolitic belt, showing the sampling sites (a) and study area (b)

底扩张和俯冲消减事件的年代问题,提出了新认识。

### 1 地质概况和样品描述

在金沙江蛇绿岩带中,研究程度较高的蛇绿岩

产地主要有滇西拖顶—霞若地区、拱卡—书松地区、白马雪山、娘九丁—之用和川西徐麦—雪堆地区(图1a)。本文所研究的辉长岩、斜长岩、斜长花岗岩和花岗闪长岩样品分别采于这些地区,样品野外和岩石

学特征简要描述如下:

### 1.1 之用角闪辉长岩(010-1)

样品位于白马雪山至羊拉公路 33 km 路碑附近(图 1a),这是一个出露宽度仅 10 m 的小露头。这一岩石发育特征的由粗粒的斜长石和暗色矿物构成的层状构造(图版 I-1),显示了明显的堆晶特征。样品重约 20 kg。

表 1 金沙江蛇绿岩带中辉长岩、斜长岩及相关斜长花岗岩和花岗闪长岩的主量元素(%) 和 REE 分析( $\times 10^{-6}$ )结果

Table 1 Major and REE compositions of ophiolitic gabbros and anorthosite, and related plagiogranites and granodiorite along the Jianshajiang ophiolite belt

样号	010-1	006-1	011-4	011-6	007-4	012-3	002-1
地点	之用	白马雪山	书松	书松	娘九丁	雪堆	吉义独
岩性	角闪辉长岩	辉长岩	斜长岩	斜长岩	斜长花岗岩	斜长花岗岩	花岗闪长岩
SiO <sub>2</sub>	50.3	47.14	51.46	50.24	73.28	74.85	67.64
TiO <sub>2</sub>	0.40	0.82	0.07	0.17	1.20	0.24	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.44	17.77	24.83	21.69	13.20	13.02	16.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.15	1.84	0.82	0.71	0.95	0.00	0.30
FeO	4.88	5.02	1.78	3.50	1.77	1.23	1.89
MnO	0.152	0.128	0.082	0.107	0.18	0.056	0.056
MgO	10.51	6.35	1.76	5.95	0.94	1.31	1.91
CaO	12.26	9.62	8.84	8.62	1.77	1.78	3.45
Na <sub>2</sub> O	2.33	3.92	4.54	3.46	6.21	6.28	4.92
K <sub>2</sub> O	0.24	0.71	2.14	1.74	0.04	0.16	1.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.13	0.10	0.01	0.05	0.02	0.10
总量	96.68	93.45	96.44	96.20	99.51	98.95	98.06
La	1.69	5.35	2.9	2.39	19.7	36.5	9.44
Ce	4.2	10.9	5.23	3.63	34.4	56	15.8
Pr	0.54	1.47	0.65	0.45	4.45	5.80	1.78
Nd	2.51	7.57	2.31	2.22	17.1	26.0	7.67
Sm	0.91	2.36	0.49	0.70	4.11	4.29	1.94
Eu	0.42	0.95	0.50	0.47	0.79	0.95	0.63
Gd	1.28	2.61	0.44	0.72	4.55	2.97	1.43
Tb	0.21	0.50	0.077	0.13	0.80	0.33	0.23
Dy	2.14	3.49	0.38	0.78	5.32	2.19	1.26
HO	0.39	0.67	0.044	0.13	0.97	0.38	0.25
Er	1.27	1.95	0.15	0.32	2.63	0.98	0.48
Tm	0.18	0.28	0.024	0.048	0.37	0.14	0.064
Yb	0.93	1.71	0.15	0.28	2.14	0.80	0.37
Lu	0.16	0.24	0.022	0.043	0.33	0.13	0.045
Y	8.58	14.6	2.02	3.31	21.5	7.76	4.66

分析单位:宜昌地质矿产研究所。

岩石呈灰绿色,中粗粒,发育辉长结构和嵌晶含长结构。主要由普通辉石(约 35%~40%),角闪石(约 30%~35%),斜长石(20%~25%)组成,含少量绿帘石和方解石。样品有轻微蚀变,部分矿物有细粒化现象。岩石化学成分相当于张旗所划分中等钛含量辉长岩(表 1),LREE 弱亏损(表 1,图 2),具

MORB 特征。

### 1.2 白马雪山辉长岩(006-1)

样品采自白马雪山丫口以西约 4 km 的公路边(图 1a)。在这一地区,蛇绿混杂岩带出露宽约 3 km。这里的超镁铁质岩块零星分布于剪切的砂板岩中,后者为浊流沉积。混杂岩块体除变质的超镁铁质岩(主要是二辉橄榄岩)外,还有堆晶的方辉岩、辉长岩、辉绿岩、枕状玄武岩和含放射虫硅质岩等岩块(张旗等,1992)。在采样位置上,辉长岩出露宽度约 50 m,与枕状玄武岩(图版 I-2)呈构造接触关系。样品重约 10 kg。

岩石呈灰绿色,中细粒,发育辉长结构和嵌晶含长结构。主要由普通辉石(约 45%),斜长石(约 35%)组成,次生矿物有绿泥石(约 10%)和方解石等。含少量金属矿物。岩石化学成分相当于张旗所划分中等钛含量辉长岩(表 1),LREE 呈平坦型(表 1,图 2)。

### 1.3 书松斜长岩(011-6)

滇西书松蛇绿岩(图 1a)主要由强烈蛇纹岩化的二辉橄榄岩,纯橄岩,层状辉长岩,辉绿岩,枕状玄武岩,及紫红色和黑色放射虫硅质岩组成(Wang et al., 2000)。金沙江地区蛇绿岩中各类岩石一般呈构造接触,散布于石炭一二叠纪火山沉积建造中,而没有完整的蛇绿岩层序。但在书松约 200 m 剖面上,依次出露玄武岩、辉绿岩、粗粒层状辉长岩等岩石单元,可能是滇西地区蛇绿岩层序保存相对较好的剖面。其中斜长岩呈团块状或脉状产于层状辉长岩中(图版 I-3),后者具堆晶特征。书松斜长岩 SHRIMP 分析样品采自一个直径约 30 cm 的团块(图版 I-4)。样品新鲜,重约 5 kg。

岩石呈粗粒,块状结构,主要矿物为斜长石(约 95%),含少量单斜辉石,角闪石及微量锆石。岩石化学成分和 REE 分析列于表 1 中(011-4, 011-6)。LREE 略富集,有明显的正 Eu 异常。

### 1.4 娘九丁斜长花岗岩(007-4)

样品采于白马雪山至羊拉公路 30 km 路碑附近(图 1a),蛇绿岩出露宽约 200 m,主要岩石单元有强烈蛇纹石化纯橄岩和方辉橄榄岩,中细层状辉长岩,中粒条带状辉长岩和辉绿岩。斜长花岗岩呈宽约数厘米至约 1 m 的脉状、网脉状产于中细粒块状辉长岩内。样品采自一个穿插辉长岩,宽约 1 m 的斜长花岗岩脉(图版 I-5)。样品新鲜,重约 5 kg。岩石呈灰白色,中细粒花岗结构,主要成分为斜长石(约 65%)和石英(约 30%),次生矿物主要有绿泥石

和方解石。岩石具有高硅、低钾的成分特征(表1), LREE 富集,有明显的负 Eu 异常(表1,图2)。

娘九丁斜长花岗岩及下述雪堆斜长花岗岩和吉义独花岗岩闪长岩的 Rb-Sr 同位素分析列于表2,这

些岩石的初始 Sr 同位素组成与典型大洋斜长花岗岩相比,偏高,反映了它们成因上的特殊性,这一部分将在后述内容中详加讨论。

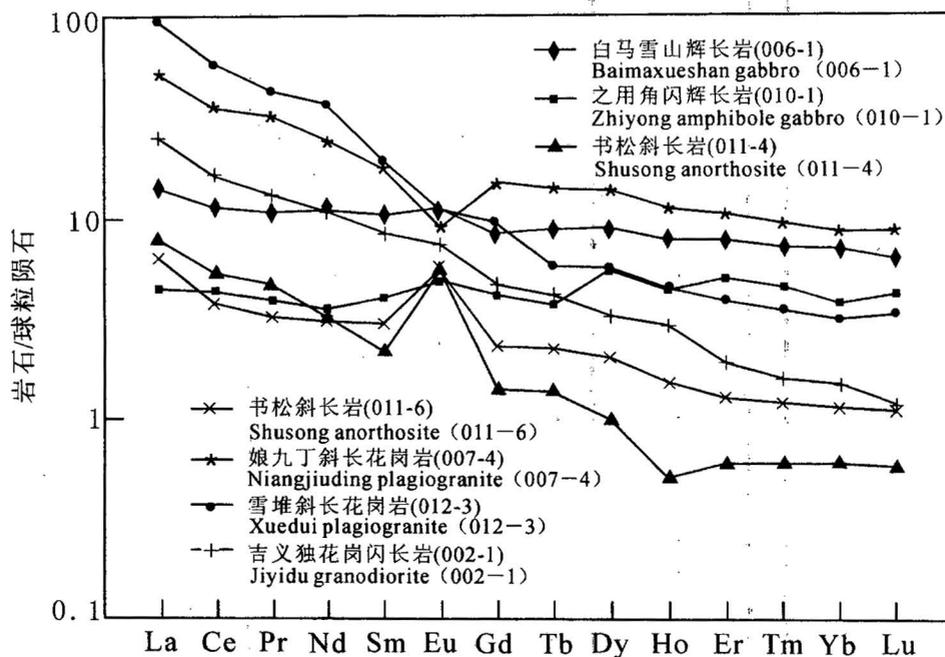


图2 SHRIMP 测年样品的 REE 配分模式图

Fig. 2 REE patterns of SHRIMP dating samples

表2 斜长花岗岩和花岗闪长岩的 Rb-Sr 分析

Table 2 Rb-Sr analysis of the plagiogranites and granodiorite

样号	产地	岩性	产状	Rb( $\times 10^{-6}$ )	Sr( $\times 10^{-6}$ )	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$
007-4	娘九丁	斜长花岗岩	呈脉状产于辉长岩内	1.04	128	0.23490	$0.70723 \pm 0.00001$	0.70628
012-1	雪堆	斜长花岗岩	呈脉状产于蛇纹石化橄榄岩中	5.428	304	0.05149	$0.70633 \pm 0.0004$	0.70611
012-2				1.958	346	0.01632	$0.70651 \pm 0.00006$	0.70582
012-3				5.233	284	0.05316	$0.70666 \pm 0.00005$	0.70643
012-4				4.127	441	0.02698	$0.70712 \pm 0.00004$	0.70701
012-5				2.907	337	0.02486	$0.70680 \pm 0.00003$	0.70670
002-1	吉义独	花岗闪长岩	侵入蛇绿岩	33.73	569	0.71000	$0.70522 \pm 0.00004$	0.70458

分析单位:宜昌地质矿产研究所。

### 1.5 雪堆斜长花岗岩(012-3)

徐麦—雪堆蛇绿岩(图1a)在金沙江蛇绿岩带中规模最大。自徐麦经雪堆往嘎金雪山(详见莫宣学等,1998),依次出现变质橄榄岩,主要由强蛇纹石化方辉橄榄岩及纯橄岩组成;镁铁—超镁铁质堆晶杂岩。蛇绿混杂岩中含斜长花岗岩和二叠系变基性熔岩。

样品采于雪堆村东约200m。在露头上,斜长花岗岩呈脉状块体产于变质橄榄岩中,脉宽数十厘

米至2m,延伸数十厘米至10m(图版I-6)。在斜长花岗岩中见有变质橄榄岩的捕虏体(图版I-7)。样品新鲜,重约3kg。岩石为灰白色,不等粒半自形结构,主要矿物为钠长石(少数更长石,  $An < 20$ )和石英(30%~40%)。含少量白云母。次生矿物有绿帘石、葡萄石、碳酸盐等。斜长石呈半自形板状、花斑状。填间粒状石英有明显的压碎现象,普遍见波状、束状消光。岩石具有高硅、低钾的成分特征(表1), LREE 强富集(表1,图2)。

### 1.6 吉义独花岗闪长岩(002-1)

金沙江蛇绿岩带南端,吉义独一下该一带,发育蛇绿岩套的堆晶杂岩,由堆晶橄榄岩、堆晶辉长岩和浅色岩组成(莫宣学等,1993)。吉义独花岗闪长岩呈岩株状侵位于蛇纹石化二辉橄榄岩中,在剖面上,岩体出露宽度约 20 m(图版 I-8)。样品新鲜,重约 5 kg。

吉义独花岗闪长岩,为中粒花岗结构,块状构造,主要矿物为斜长石(约 35%),钾长石(约 30%),和石英(约 25%),次为角闪石(约 10%),其中部分已绿泥石化和绿帘石化。岩石化学成分见表 1。REE 配分模式为 LREE 略富集型(表 1,图 2)。

## 2 SHRIMP U-Pb 同位素地质年代学分析方法

锆石按常规方法分选,最后在双目镜下挑纯。将锆石与一片 RSES 参考样 SL13 及数粒 TEM 置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露,用于阴极发光研究及随后的 SHRIMP U-Pb 分析。锆石阴极发光研究在中国地质科学院矿床地质研究所电子探针研究室完成。

锆石 SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院新安装的 SHRIMP II 上完成,详细分析流程和原理参考 Compston 等(1992)及 Williams 等(1987)。分析时,采用跳峰扫描,记录  $Zr_2O^+$ ,  $^{204}Pb^+$ , 背景值,  $^{207}Pb^+$ ,  $^{208}Pb^+$ ,  $U^+$ ,  $Th^+$ ,  $ThO^+$  和  $UO^+$  9 个离子束峰,每 7 次扫描记录一次平均值。一次离子为约 4.5 nA, 10 kV 的  $O^{2-}$ , 靶径约 25~30  $\mu m$ 。质量分辨率约 5000 (1%峰高)。应用 RSES 参考锆石 TEM (417Ma) 进行元素间的分馏校正 (interelement fractionation), 用 SL13 (年龄, 572 Ma; U 含量,  $238 \times 10^{-6}$ ) 标定样品的 U、Th、Pb 含量。数据处理采用 Ludwig SQUID1.0 及 ISOPLT 程序。除之用角闪辉长岩的锆石 U-Pb 分析外,普通铅一般根据实测  $^{204}Pb$  进行校正,并将数据点投入 Wetheril 一致曲线图中(图 4~8)。对于之用角闪辉长岩,我们采用了应用实测 Pb 校正普通铅的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄,因为这一样品中大部分锆石颗粒的 U ( $8 \times 10^{-6} \sim 28 \times 10^{-6}$ , 表 3) 和 Pb 含量均极低。数据应用 Tera-Wasserburg 投图方式表达(图 3)。有关处理数据的细节,读者可参考 Nutman 等(2001)的文章。表 3 至表 7 中所列单个数据点的误差均为  $1\sigma$ 。所采用的  $^{206}Pb/^{238}U$  加权平均年龄均具 95% 的置信度。

## 3 分析结果

### 3.1 之用角闪辉长岩(010-1)

之用角闪辉长岩中的锆石,大部分为自形,短柱状至等粒状,少量为长柱状,它形晶。锆石无色、透明。颗粒细小,一般在 50~100  $\mu m$ , 只有个别在 100  $\mu m$  以上。阴极发光照片揭示,大部分锆石内部均匀,没有明显的结构特征(如颗粒 1 和 12, 图版 II-1),也有一些锆石的内部发育晶核(如颗粒 5 和 13, 图版 II-2)。

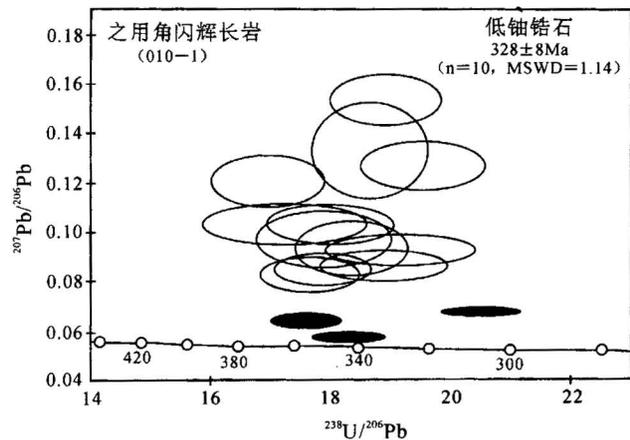


图 3 之用角闪辉长岩锆石 U-Pb Tera-Wasserburg (未校正的  $^{207}Pb/^{206}Pb$ ,  $^{238}U/^{206}Pb$ ) 投图

Fig. 3  $^{207}Pb/^{206}Pb$  (total) versus  $^{238}U/^{206}Pb$  (total) Tera-Wasserburg plot of zircons from the Zhiyong amphibole gabbro  
实心的椭圆为 U 含量较高的锆石分析

The solid ellipses represent the high U zircon spots

SHRIMP U-Pb 分析结果列于表 3。其中,11 个无结构锆石的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄(应用实测  $^{207}Pb$  校正普通铅,注解见表 3)为 279~344 Ma(分析 1-1, 3-1, 4-1, 6-1, 7-1, 9-1, 10-1, 11-1, 12-1, 14-1, 15-1; 表 3)。这些锆石 U 含量为  $8 \times 10^{-6} \sim 28 \times 10^{-6}$ , 极低但很均匀; Th/U 值为 0.26~0.65, 变化范围也较小(表 3),说明它们是从同一岩浆中结晶形成的。这些分析在图 3 中构成主锆石群,除分析 4-1 的年龄值较低外,10 个分析的  $^{206}Pb/^{238}U$  加权平均年龄为  $328 \pm 8$  Ma ( $n=10$ , MSWD=1.14), 可能代表这一岩石的形成年龄。

应当指出的是,一些锆石含晶核。颗粒 5 的晶核给出  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄为  $343 \pm 9$  Ma(表 3, 图版 II-2), 颗粒 2 和颗粒 13(图版 II-2)也含有晶核,给出了

357±9 Ma 和 301±8 Ma 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄。这些锆石的年龄略老于主锆石群或与之相当,但其 U 含量为  $154 \times 10^{-6} \sim 601 \times 10^{-6}$ , Th/U 值为 0.36~1.16 (表 3), 显示了与低 U 无结构锆石的明显区别。这

些锆石的分析数据(实心的椭圆)在图 3 中更靠近一致曲线, 远离主锆石群, 可能反映了一次略早的岩浆事件。

表 3 之用角闪辉长岩锆石 SHRIMP 分析结果

Table 3 U-Pb data of zircons from the Zhiyong amphibole gabbro

点号	$^{206}\text{Pbc}$ (%)	U ( $\times 10^{-6}$ )	Th ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)	Total $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	$\sigma_{\pm}$ (%)	Total $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\sigma_{\pm}$ (%)
1-1	5.06	12	3	0.26	0.573	317±12	18.36	3.4	0.0936	7.5
2-1	1.34	143	154	1.11	6.98	357±9	17.62	2.2	0.0643	3.0
3-1	8.36	8	3	0.36	0.409	332±15	16.97	3.7	0.1206	5.8
4-1	12.59	13	3	0.27	0.598	279±13	18.92	3.2	0.1532	4.6
5-1	0.53	95	33	0.36	4.44	343±9	18.30	2.2	0.0576	2.3
6-1	4.17	28	17	0.64	1.28	321±14	18.89	3.7	0.0863	4.8
7-1	6.20	13	4	0.32	0.645	328±23	17.50	6.0	0.1031	5.4
9-1	5.47	19	5	0.29	0.924	327±16	17.90	4.2	0.0971	7.8
10-1	10.04	12	4	0.30	0.570	298±13	18.66	3.4	0.1330	9.6
11-1	6.24	15	5	0.32	0.739	322±12	17.78	3.1	0.1033	4.9
12-1	3.94	18	7	0.40	0.883	336±11	17.89	3.0	0.0849	5.1
13-1	1.91	601	676	1.16	25.2	301±8	20.51	2.1	0.0677	1.7
14-1	3.67	15	6	0.42	0.718	344±12	17.66	3.1	0.0829	5.5
15-1	4.99	24	15	0.65	1.06	307±16	19.15	4.2	0.0927	4.3

注:① 误差为  $1\sigma$ ; Pbc 和  $\text{Pb}^*$  分别代表普通铅和放射性成因铅;② 标准校正的误差为 1.03%;③ 应用  $^{207}\text{Pb}$  实测值校正普通铅,并假设  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  年龄一致。

表 4 白马雪山辉长岩 SHRIMP U-Pb 分析结果

Table 4 SHRIMP data of zircons from the Baimaxueshan gabbro

点号	$^{206}\text{Pbc}$ (%)	U ( $\times 10^{-6}$ )	Th ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}^*$ $/^{206}\text{Pb}^*$	$\sigma_{\pm}$ (%)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\sigma_{\pm}$ (%)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\sigma_{\pm}$ (%)
1-1	0.15	214	100	0.48	10.4	352±9	491±75	0.0570	3.4	0.4410	4.3	0.0561	2.6
2-1	0.05	966	323	0.35	35.1	267±7	273±28	0.0517	1.2	0.3013	2.9	0.0422	2.6
3-1	1.23	169	59	0.36	6.54	282±8	59±310	0.0472	13	0.2900	13	0.0446	2.8
4-1	0.60	267	157	0.61	13.8	375±10	184±72	0.0498	3.1	0.4110	4.1	0.0599	2.7
5-1	4.72	51	19	0.39	2.09	285±9	-398±770	0.2450	30	0.2450	30	0.0452	3.2
6-1	8.36	78	30	0.39	3.29	284±10	-1,950±2100	0.0240	57	0.1470	57	0.0450	3.4

注:① 误差为  $1\sigma$ ; Pbc 和  $\text{Pb}^*$  分别代表普通铅和放射性成因铅;② 标准校正的误差为 1.03%;③ 普通铅校正应用  $^{204}\text{Pb}$  实测值。

### 3.2 白马雪山辉长岩(006-1)

白马雪山辉长岩中锆石含量极低。锆石为浅黄一无色,清晰、透明,自形短柱至它形。在阴极发光照片中,没有显示特征的内部结构。

6 个 SHRIMP 分析结果列于表 4 中,及一致曲线图中(图 4)。两个锆石给出较老的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 352±9 Ma 和 375±10 Ma(表 4), 这类锆石发育韵律环带结构(如颗粒 4, 图版 II-3)。另 4 个锆石给出  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 267~285 Ma, 其中 3 个颗粒集中于 282~285 Ma 的范围内, 这些锆石内部均匀, 无明显的结构(如颗粒 5 和 6, 图版 II-3)。

由于受锆石数量的限制,这一样品只获得了较少的分析结果,但清楚地表明这一样品中存在两个

年龄不同的锆石群体,提供了分析岩石演化的年代学信息。

### 3.3 书松斜长岩(011-6)

书松斜长岩锆石组成均匀,为浅黄色,短柱状自形晶。阴极发光揭示其内部结构较不均匀,主要是补丁状的结构,一般由暗色和浅色补丁相间组成。个别锆石如颗粒 2 有模糊的韵律环带结构。

10 个分析结果列于表 5 中。其中,9 个分析给出  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 316~340 Ma。在一致曲线图中(图 5),数据点投入和谐线附近,并成群分布。9 个分析的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为 329±7 Ma,解释为斜长岩的形成年龄。

表 5 书松斜长岩锆石 SHRIMP 分析结果

Table 5 SHRIMP data of zircons from the Zhiyong Gabbro and the Susong anorthosite

点号	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (%)	U ( $\times 10^{-6}$ )	Th ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\sigma_{\pm}$ (%)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\sigma_{\pm}$ (%)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\sigma_{\pm}$ (%)
1-1	0.13	1676	447	0.28	72.4	$316 \pm 7$	$315 \pm 21$	0.0527	0.94	0.3649	2.3	0.0502	2.1
2-1	2.34	381	83	0.22	17.1	$320 \pm 7$	$-44 \pm 150$	0.0452	6.1	0.3180	6.5	0.0510	2.2
3-1	1.76	95	29	0.31	4.35	$329 \pm 8$	$236 \pm 240$	0.0509	11	0.3670	11	0.0524	2.4
4-1	0.50	1592	543	0.35	74.1	$338 \pm 8$	$332 \pm 38$	0.0531	1.7	0.3940	2.9	0.0539	2.4
4-2	1.95	1622	498	0.32	83.5	$368 \pm 7$	$283 \pm 55$	0.0519	2.4	0.4210	3.2	0.0588	2.1
6-1	0.60	5471	2565	0.48	250	$332 \pm 8$	$281 \pm 27$	0.0519	1.2	0.3782	2.6	0.0529	2.4
7-1	1.05	3780	1964	0.54	165	$315 \pm 6$	$379 \pm 82$	0.0542	3.6	0.3750	4.2	0.0501	2.1
8-1	0.84	1075	231	0.22	50.4	$340 \pm 7$	$256 \pm 50$	0.0513	2.2	0.3830	3.0	0.0542	2.1
9-1	1.29	214	50	0.24	9.46	$319 \pm 7$	$508 \pm 130$	0.0574	5.7	0.4020	6.1	0.0508	2.2
10-1	2.42	4602	1605	0.36	219	$339 \pm 7$	$191 \pm 97$	0.0499	4.2	0.3720	4.7	0.0540	2.1

注:① 误差为  $1\sigma$ ;Pbc 和  $\text{Pb}^*$  分别代表普通铅和放射性成因铅;② 标准校正的误差为 0.70%;③ 普通铅校正应用  $^{204}\text{Pb}$  实测值。

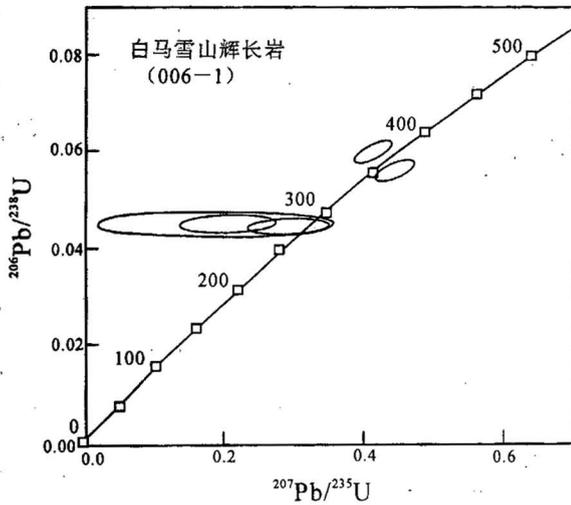


图 4 白马雪山辉长岩锆石 U-Pb 一致曲线图  
Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircons from the Baimaxueshan gabbro

4 号颗粒的不同部位的年龄有明显的区别(如图版 I-4)。阴极发光弱的部分  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $368 \pm 7$  Ma,在一致曲线图中,远离主锆石群(图 5),可能反映了更早的岩浆活动的信息。

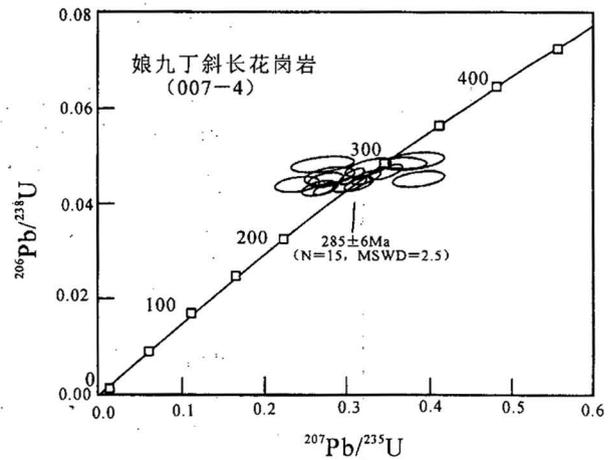


图 6 娘九丁斜长花岗岩锆石 U-Pb 一致曲线图  
Fig. 6 U-Pb concordia diagram of zircons from the Niangjiuding plagiogranite

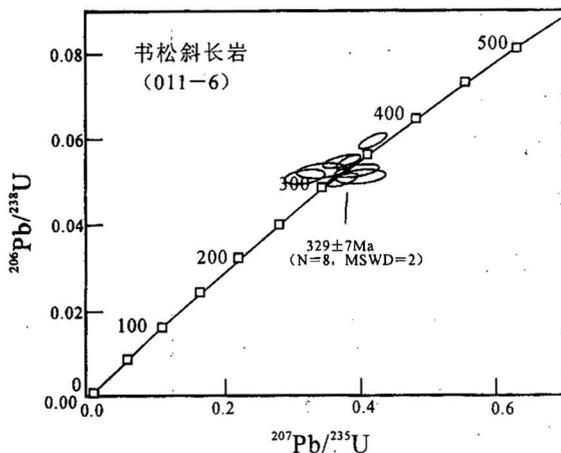


图 5 书松斜长岩锆石 U-Pb 一致曲线图  
Fig. 5 U-Pb concordia diagram of zircons from the Susong anorthosite

### 3.4 娘九丁斜长花岗岩(007-4)

娘九丁斜长花岗岩的锆石为浅黄色至无色,透明。长柱状至等粒状自形晶。锆石颗粒细小,粒径在  $50 \sim 100 \mu\text{m}$  之间。大部分锆石具韵律环带结构(如颗粒 16,图版 I-5),少数锆石发育补丁结构(如颗粒 10,图版 I-6)或无明显的结构。

16 个分析结果列于表 6 中。其中,15 个分析给出  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 273~309 Ma。其中 5 个发育韵律环带结构的锆石年龄范围为 274~303 Ma;无结构和补丁结构的锆石年龄为 273~309 Ma。两类锆石之间,年龄没有明显的区别。但是,这一岩石中锆

石的 Th/U 值变化大,为 0.08~0.76,说明岩浆成数据点成群分布(图 6), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为分不均匀,暗示其部分熔融成因。在一致曲线图中,  $285\pm 6\text{ Ma}(n=15)$ 。

表 6 娘九丁斜长花岗岩和吉义独花岗闪长岩锆石 SHRIMP 分析结果

Table 6 SHRIMP data of zircons from the Niangjiuding plagiogranite and Jiyidu granodiorite

点号	$^{206}\text{Pb}_{\text{bc}}$ (%)	U ( $\times 10^{-6}$ )	Th ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\sigma_{\pm}$ (%)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\sigma_{\pm}$ (%)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\sigma_{\pm}$ (%)
007-4 娘九丁斜长花岗岩													
1-1	0.32	680	427	0.65	26.2	282±6	272±51	0.0517	2.2	0.3180	3.2	0.0446	2.3
2-1	0.51	326	113	0.36	12.2	273±6	-48±120	0.0451	4.8	0.2690	5.4	0.0432	2.4
3-1	0.50	219	83	0.39	8.72	289±7	-78±160	0.0446	6.5	0.2820	6.9	0.0459	2.4
5-1	1.42	236	19	0.08	10.1	304±7	-274±230	0.0412	9.2	0.2740	9.5	0.0483	2.5
6-1	1.24	128	72	0.58	5.37	303±7	361±180	0.0538	8.0	0.3570	8.4	0.0481	2.5
7-1	0.09	277	88	0.33	10.6	278±6	240±110	0.0510	4.9	0.3100	5.4	0.0440	2.4
8-1	2.05	478	81	0.17	37.2	558±13	1,925±18	0.1179	1.0	1.470	2.6	0.0904	2.3
9-1	0.14	357	27	0.08	14.1	290±1	286±71	0.0520	3.1	0.3300	3.9	0.0460	2.4
10-1	0.18	108	26	0.25	4.17	285±7	702±100	0.0628	4.7	0.3920	5.3	0.0452	2.4
10-2	1.52	289	111	0.40	12.4	309±7	497±120	0.0571	5.6	0.3870	6.1	0.0492	2.4
11-1	0.07	1157	361	0.32	46.1	292±7	286±35	0.0520	1.5	0.3317	2.8	0.0462	2.3
12-1	—	445	151	0.35	17.8	294±7	409±53	0.0549	2.4	0.3540	3.4	0.0467	2.4
13-1	—	279	25	0.09	10.7	279±7	-360±180	0.0399	7.0	0.2430	7.5	0.0442	2.5
14-1	0.10	357	31	0.09	13.9	283±7	-57±110	0.0450	4.4	0.2790	5.0	0.0449	2.3
15-1	—	988	723	0.76	37.0	274±6	-1±42	0.0460	1.7	0.2759	2.9	0.0435	2.3
16-1	—	856	386	0.47	33.9	289±7	153±41	0.0491	1.7	0.3105	2.9	0.0459	2.3
002-1 吉义独花岗闪长岩													
1-1	—	1063	310	0.30	37.0	254±6	192±43	0.0499	1.8	0.2769	3.0	0.0402	2.4
2-1	0.04	825	218	0.27	29.7	262±6	128±68	0.0486	2.9	0.2780	3.8	0.0415	2.4
3-1	—	1314	334	0.26	44.8	250±6	205±36	0.0502	1.6	0.2741	2.8	0.0396	2.4
4-1	0.44	410	180	0.45	15.0	265±6	201±110	0.0501	4.6	0.2900	5.1	0.0420	2.3
5-1	—	398	210	0.54	14.3	262±7	137±97	0.0488	4.1	0.2790	4.9	0.0414	2.6
6-1	—	1112	344	0.32	38.8	256±6	165±41	0.0493	1.7	0.2756	2.9	0.0405	2.3
7-1	0.05	314	101	0.33	11.5	267±6	203±100	0.0502	4.4	0.2920	5.0	0.04223	2.4
8-1	—	1010	257	0.26	37.1	268±6	179±65	0.0497	2.8	0.2910	3.6	0.0425	2.3
9-1	—	828	409	0.51	31.0	274±6	231±33	0.0508	1.4	0.3043	2.7	0.0435	2.3
Q10-1	—	752	170	0.23	25.5	248±6	111±57	0.0482	2.4	0.2611	3.4	0.0393	2.4

注:① 误差为 1 $\sigma$ ;Pbc 和 Pb\* 分别代表普通铅和放射性成因铅;② 标准校正的误差为 0.74%;③ 普通铅校正应用 $^{204}\text{Pb}$ 实测值。

### 3.5 雪堆斜长花岗岩(012-3)

雪堆斜长花岗岩中的锆石,一般为浅黄至无色,清晰、透明。在双目镜下观察,一部分锆石自形,为长柱状至等粒状,另一些锆石呈半自形—它形,显示了锆石组成的不均匀性。阴极发光下,自形的锆石通常发育韵律环带结构(如颗粒 1 和 2,图版 II-7);半自形—它形的锆石通常无特征的结构(如颗粒 3,图版 II-7),或具韵律环带结构(如颗粒 13,图版 II-7)。

18 个分析结果列于表 7 中。锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄,主要为两组,一组为 286~311 Ma(3-1,6-1,7-1,9-1,10-1,13-1,18-1,表 7),其锆石的特点是无明显的内部结构,晶形不完整;另一组为 219~258 Ma(1-1,2-1,5-1,8-1,11-1,12-1,14-1,15-1,17-1,表 7),其锆石特点是自形、发育韵律环带结构。在一致曲线图上数据点分为两群(图 7), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均值分别为  $300\pm 5\text{ Ma}(n=7)$  和  $239\pm 10\text{ Ma}(n=$

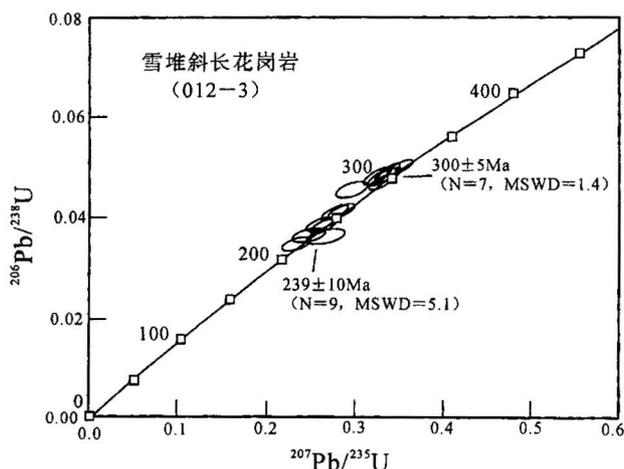


图 7 雪堆斜长花岗岩锆石 U-Pb 一致曲线图  
Fig. 7 U-Pb concordia diagram of zircons from the Xuetui plagiogranite

表 7 雪堆斜长花岗岩锆石 SHRIMP 分析结果

Table 7 SHRIMP data of zircons from the Xuetui plagiogranite

点号	<sup>206</sup> Pbc (%)	U (×10 <sup>-6</sup> )	Th (×10 <sup>-6</sup> )	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb* (×10 <sup>-6</sup> )	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 年龄(Ma)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb 年龄(Ma)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb*	σ± (%)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	σ± (%)	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	σ± (%)
1-1	0.95	1168	1076	0.95	35.0	219±5	143±84	0.0489	3.6	0.2330	4.3	0.03455	2.4
2-1	0.32	895	526	0.61	31.4	257±6	180±54	0.0497	2.3	0.2788	3.3	0.04069	2.4
3-1	0.89	605	300	0.51	23.8	286±7	80±78	0.0476	3.3	0.2980	4.0	0.04530	2.4
4-1	0.53	1497	862	0.60	172	807±18	811±87	0.0661	4.1	1.216	4.8	0.1334	2.4
5-1	0.30	658	320	0.50	22.1	246±6	229±41	0.05074	1.8	0.2720	3.0	0.0389	2.4
6-1	0.41	899	483	0.55	37.1	301±7	203±42	0.05018	1.8	0.3309	3.0	0.0478	2.4
7-1	0.28	876	613	0.72	35.4	296±7	256±45	0.05134	1.9	0.3320	3.1	0.0469	2.4
8-1	0.63	649	266	0.42	21.5	243±6	190±86	0.0499	3.7	0.2640	4.5	0.0383	2.5
9-1	0.43	969	681	0.73	40.1	302±7	160±46	0.04925	1.9	0.3260	3.1	0.0480	2.4
10-1	0.40	1421	625	0.45	60.5	311±7	265±33	0.05153	1.4	0.3511	2.8	0.0494	2.4
11-1	0.55	503	253	0.52	15.8	230±6	183±110	0.0497	4.5	0.2490	5.2	0.0363	2.6
12-1	0.40	1029	571	0.57	33.9	242±6	208±50	0.0503	2.1	0.2651	3.2	0.0382	2.4
13-1	0.26	1762	1984	1.16	72.3	300±7	283±25	0.05196	1.1	0.3415	2.7	0.0477	2.4
14-1	0.37	1086	634	0.60	38.3	258±6	224±55	0.0506	2.4	0.2853	3.5	0.0409	2.5
15-1	0.16	1373	1471	1.11	44.4	238±6	212±37	0.05037	1.6	0.2612	2.9	0.0376	2.4
16-1	0.08	665	169	0.26	59.1	634±15	909±19	0.06936	0.93	0.9880	2.6	0.1033	2.4
17-1	0.68	680	422	0.64	21.2	228±6	366±100	0.0539	4.6	0.2680	5.3	0.0360	2.7
18-1	0.22	1544	1628	1.09	64.7	306±7	214±29	0.05041	1.2	0.3384	2.7	0.0487	2.4

① 误差为 1σ; Pbc 和 Pb\* 分别代表普通铅和放射性成因铅; ② 标准校正的误差为 1.06%; ③ 普通铅校正应用<sup>204</sup>Pb 实测值。

9)。两组年龄反映了两次不同的岩浆事件。

颗粒 4 和 16 给出了 807±18 和 634±15 Ma 的年龄值, 指示岩浆中存在陆壳物质。

娘九丁斜长花岗岩, 还存在<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 558±13 Ma 的继承锆石(表 5, 颗粒 8), 指示岩浆可能受到了陆源物质的混染。

型的韵律环带结构(如颗粒 2, 图版 I-8)。

10 个分析结果列于表 6 中。锆石的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄变化范围为 248~274 Ma。数据点在一致曲线图中成群分布(图 8), <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为 263±6 Ma(n=10)。

### 4 讨论

金沙江蛇绿岩中斜长岩、辉长岩、斜长花岗岩和花岗闪长岩的 SHRIMP U-Pb 测年, 提供了蛇绿岩形成时代及洋盆演化的年代学制约。

#### 4.1 金沙江蛇绿岩中辉长岩和斜长岩年龄的地质意义: 海底扩张事件

之用角闪辉长岩、白马雪山辉长岩和书松斜长岩是金沙江蛇绿岩中的基性深成岩, 它们的形成年龄代表洋壳的形成时代。这些岩石 ΣREE 介于 15.39×10<sup>-6</sup>~54.65×10<sup>-6</sup>, 以书松斜长岩最低(011-4 和 011-6, 表 1)。之用角闪辉长岩和白马雪山辉长岩为弱亏损或平坦型(图 2)。书松斜长岩 LREE 略富集, 具明显的正 Eu 异常, 与斜长石堆积有关(图 2)。这些岩石总体具 N 型和/或 E 型 MORB 的性质, 与金沙江蛇绿岩中其它岩石单元如辉绿岩、枕状玄武岩和变质橄榄岩的研究结论(张旗等, 1992; 韩松等, 1996; 莫宣学等, 1998)一致。

SHRIMP 精确定年表明之用角闪辉长岩形成于 328±8 Ma, 书松斜长岩形成于 329±7 Ma, 两者在误差范围内没有区别。可以参考的是, 白马雪山

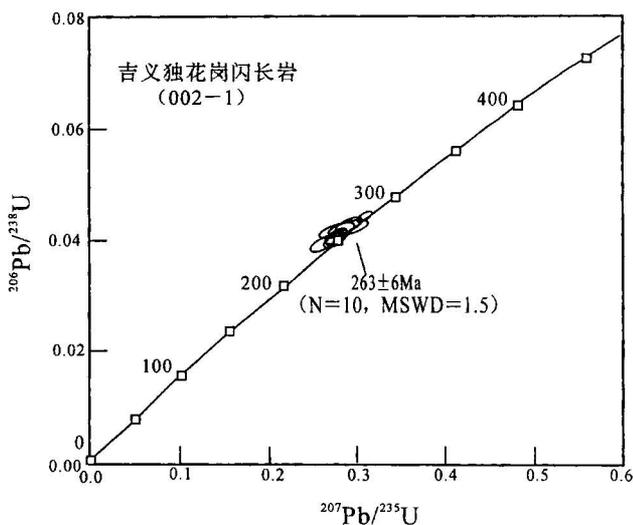


图 8 吉义独花岗闪长岩锆石 U-Pb 一致曲线图

Fig. 8 U-Pb concordia diagram of zircons from the Jiyidu granodiorite

### 3.6 吉义独花岗闪长岩(002-1)

吉义独花岗闪长岩中的锆石组成均匀, 为浅黄-无色, 清晰透明, 短柱状自形晶。阴极发光显示出典

辉长岩中有一组介于 282~285 Ma 的年龄,反映了一次稍晚的辉长岩的侵位事件。这些年龄记录了古特提斯海底不同阶段扩张的时代数据。

值得注意的是,在这 3 个样品中还分辨出了略老于岩石形成年龄的锆石组成。如书松斜长岩中年龄为  $368 \pm 7$  Ma 的晶域,之用角闪辉长岩中约  $357 \pm 5$  Ma 的高 U 晶域,白马雪山辉长岩中年龄为  $352 \pm 9$  Ma 和  $375 \pm 10$  Ma 的锆石。这些证据表明金沙江带蛇绿岩浆活动可能始于晚泥盆世。

#### 4.2 金沙江蛇绿岩中斜长花岗岩年龄的地质意义:俯冲消减事件

##### 4.2.1 娘九丁斜长花岗岩

娘九丁斜长花岗岩的岩石化学成分具高硅低钾的特征,呈脉状,局部呈网脉状产于块状辉长岩内。下列证据表明,斜长花岗岩可能与辉长岩部分熔融有关,并且,岩浆中可能存在陆壳物质的混染。

(1) 娘九丁斜长花岗岩的 REE 配分为强富集型,并存在明显的负 Eu 异常,与加拿大阿巴拉阡 Fournier oceanic fragment 中有地壳物质加入的斜长花岗岩(Flagler et al., 1991)相似。

(2) 岩石  $\Sigma$ REE 高达  $119 \times 10^{-6}$ , 远高于这次研究的滇西地区的辉长岩和斜长岩( $\Sigma$ REE 为  $13.39 \times 10^{-6} \sim 54.65 \times 10^{-6}$ ), 与之邻近的之用角闪辉长岩  $\Sigma$ REE 仅为  $25.64 \times 10^{-6}$ 。说明在岩石部分熔融过程中可能有富含 LREE 的物质加入,它最可能来源于地壳。

(3) 岩石 Sr 初始值高,达 0.7063(表 2)。

(4) 岩石中存在年龄为  $558 \pm 13$  Ma 的继承锆石。

##### 4.2.2 雪堆斜长花岗岩

雪堆斜长花岗岩的斜长花岗岩呈脉状侵入变质橄榄岩。与娘九丁斜长花岗岩在 REE, Sr 同位素和继承锆石方面相似。

(1) 雪堆斜长花岗岩  $\Sigma$ REE 高达  $145.22 \times 10^{-6}$ , 远高于川西徐麦—雪堆地区辉长岩( $57.89 \times 10^{-6} \sim 85.05 \times 10^{-6}$ , 莫宣学等, 1998)。LREE 呈强富集型(图 2), 与该区辉长岩的 LREE 略富集的平坦型模式(莫宣学等, 1998)表现出明显的区别。

(2) 雪堆斜长花岗岩的 5 个样品的 Sr 初始值为 0.7058~0.7070(表 2), 高且不均匀。

(3) 岩石中存在年龄为  $807 \pm 18$  Ma 和  $634 \pm 15$  Ma 的前寒武继承锆石。

可以类比的是,加拿大阿巴拉阡 Thetford Mine 蛇绿岩中以橄榄岩为主岩的花岗质岩石(Whitehead

et al., 2000)。这种特点说明陆壳物质的存在。

(4) 作为额外的证据,作者等应用 SHRIMP 测定了金沙江带以西,介于昌宁—孟连与金沙江蛇绿岩带之间的维西县吉岔阿拉斯加型辉长岩的年龄,为  $294 \pm 5$  Ma(简平, 另文),这种类型的辉长岩的形成环境可能是岛弧或大陆边缘(张旗等, 1992),因此表明古特提斯洋的消减至少在  $294 \pm 5$  Ma 就已开始。

综上所述,娘九丁和雪堆斜长花岗岩的野外产状、REE 和 Sr 同位素特征与典型的大洋斜长花岗岩(Coleman et al., 1975)有明显的区别。所研究的岩石中存在陆壳物质的混染,这一过程最可能与古特提斯洋壳俯冲消减有关。在区域上已有古特提斯洋于约  $294 \pm 5$  Ma 消减的同位素年代学证据。因此,娘九丁斜长花岗岩  $285 \pm 6$  Ma 的年龄和雪堆斜长花岗岩  $300 \pm 5$  Ma 的年龄,可能记录了俯冲消减事件的时代。

##### 4.3 吉义独花岗闪长岩年龄的地质意义

滇西吉义独花岗闪长岩,呈岩株状侵入蛇绿岩,年龄为  $263 \pm 6$  Ma,明显晚于蛇绿岩和与俯冲消减有关的斜长花岗岩,限定了洋盆演化的年代上限。

吉义独花岗闪长岩的  $\Sigma$ REE 为  $47.48 \times 10^{-6}$ , 低于金沙江地区岛弧和陆缘型花岗岩,而与这次研究的蛇绿岩接近; Sr 初始值为 0.7046, 略高于典型的大洋斜长花岗岩,但低于这次研究的与俯冲消减有关的斜长花岗岩, LREE 为富集型,可能说明这一岩石来源于上地幔,并受到了较低程度的陆壳物质混染。

## 5 结论

(1) 金沙江蛇绿岩主要形成于石炭纪。研究表明,滇西之用角闪辉长岩的年龄为  $328 \pm 8$  Ma, 书松斜长岩为  $329 \pm 7$  Ma, 白马雪山辉长岩为 282~285 Ma, 反映了海底扩张不同阶段的时代。在这些岩石中存在年龄在 375 至 352 Ma 的锆石, 指示蛇绿岩浆活动可能始于晚泥盆世。

(2) 俯冲消减略晚于海底扩张事件, 始于  $300 \pm 5$  Ma 和  $288 \pm 8$  Ma。在金沙江蛇绿岩中, 娘九丁斜长花岗岩和雪堆斜长花岗岩, 具有高硅低钾的成分特征, 但它们的 REE 总量高, LREE 富集; Sr 初始值高, 达 0.7058~0.7070; 在其锆石组成中, 存在继承锆石。这些证据表明斜长花岗岩中存在陆壳物质的混染, 可能与洋壳俯冲消减有关。娘九丁斜长花岗岩的年龄为  $285 \pm 6$  Ma, 雪堆斜长花岗岩为  $300 \pm 5$

Ma, 记录了洋壳俯冲消减事件。

(3) 滇西吉义独花岗闪长岩, 呈岩株状侵入蛇绿岩中, 年龄为  $263 \pm 6$  Ma, 限制了蛇绿混杂岩的年代上限。

致谢: 本研究得到了中国科学院地质研究所张旗教授的指导, 中国地质科学院周剑雄研究员帮助完成了锆石阴极发光研究。SHRIMP 实验得到了北京离子探针中心张玉海、李柏及陶华等同事的辅助。

### 参 考 文 献

- 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚. 1984. 特提斯喜马拉雅构造域初步分析. 地质学报, 58(1): 1~17.
- 韩松, 贾秀勤, 黄忠祥, 董金泉, 张旗, 陈雨, 李秀云. 1996. 云南金沙江蛇绿岩的地球化学特征及其成因的初步研究. 岩石矿物学杂志, 15(3): 204~212.
- 简平, 汪啸风, 何龙清, 王传尚. 1999. 金沙江蛇绿岩中斜长岩和斜长花岗岩的 U-Pb 年龄及地质意义. 岩石学报, 15(4): 590~593.
- 莫宣学, 路风香, 沈上越, 等. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿. 北京: 地质出版社, 11~18.
- 莫宣学, 沈上越, 朱勤文, 等. 1998. 三江中南段火山岩-蛇绿岩与成矿. 北京: 地质出版社, 86~107.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 24~65.
- 孙晓猛, 聂泽同, 梁定益. 1995. 滇西北金沙江带硅质岩沉积环境的确定及大地构造意义. 地质论评, 41(2): 174~178.
- 吴浩若. 1993. 滇西北金沙江带早石炭世深海沉积的发现. 地质科学, 28(4): 395~97.
- 张旗, 张魁武, 李达周. 1992. 横断山区镁铁-超镁铁质岩. 北京: 科学出版社, 9~130.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社, 1~231.

### References

- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. J. Geol. Soc., 149: 171~184.
- Coleman R G, Peterman Z E. 1975. Oceanic plagiogranite. J. Geophys. Res., 80: 1099~1108.
- Gerlach D C, Leeman W P et al. 1981. Petrology and Geochemistry of plagiogranite in the Canyon Mountain Ophiolite, Oregon. Contrib. Mineral. Petrol., 77: 82~92.
- Flagler P A, Spay G. 1991. Generation of plagiogranite by amphibolite anatexis in oceanic shear zones. Geology, 19(1): 70~73.
- Huang J, Chen G, Chen B. 1984. Preliminary analysis of the Tethys-Himalayan tectonic domain. Acta Geologica Sinica, 58: 1~17 (in Chinese with English abstract).
- Han S, Jia X, Huang Z, et al. 1996. A preliminary geochemical and genetic study of Jinsha River ophiolites, Yunnan Province. Acta Petrologica et Mineralogica, 15(3): 204~212 (in Chinese with

English abstract).

- Jian P, Wang X, He L, Wang C. 1999. U-Pb dating of anorthosite and plagiogranite from the Jinshajiang ophiolite belt. Acta Petrologica Sinica, 15(4): 590~593 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1999. Using Isoplot/EX, version 2, a geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a, 47.
- Ludwig K R. 2001. Squid 1. 02: A user manual. Berkeley Geochronological Center Special Publication 2; 19.
- Metcalf I. 1996. Gondwanaland dispersion, Aisia accretion and evolution of eastern Tethys. Australia Journal of Earth sciences, 43: 605~623.
- Mo X, Lu F, Sheng S, et al. 1993. Sanjiang Tethyan volcanism and related mineralization. Beijing: Geological Publishing House, 11~18 (in Chinese with English abstract).
- Mo X, Sheng S, Zhu Q, et al. 1998. Volcanics ophiolite and mineralization of middle-southern part in Sanjiang area of Southwestern China. Beijing: Geological Publishing House, 86~107 (in Chinese with English abstract).
- Nutman A P, Green D H, Cook C A, et al. 2001. SHRIMP U-Pb zircon dating of the exhumation of the Lizard peridotite and its emplacement over crustal rocks: constraints for tectonic models. Journal of the Geological Society, London. 158: 809~820.
- Pan G, Chen Z, Li Xi et al. 1997. Geological-tectonic evolution in the eastern Tethy. Beijing: Geological Publishing House, 24~65 (in Chinese with English abstract).
- Sun X, Zhang B, Nie Z. 1997. Formation age and environment of ophiolite and ophiolitic mélangé in the Jinshajiang belt, Northwestern Yunnan. Geological Review, 43(2): 113~120 (in Chinese with English abstract).
- Wang X, Metcalf I, Jian P. 2000. The Jinshajiang Suture Zone, China: tectonosratigraphy, age and evolution. Journal of Asia Earth Sciences, 18: 675~690.
- Whitehead J, Spray J G, Dunning G R. 2000. U-Pb geochronology and origin of granitoid rocks in Thetford Mine ophiolite, Canadian Appalachians. Geological Society of America Bulletin, 112(6): 915~928.
- Williams I S, Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, I. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. Contrib. Mineral. Petrol., 97: 205~217.
- Wu H. 1993. Discovery of Early Carboniferous deep-sea sediments from Jinsha Belt, NW Yunnan. Scientia Geologica Sinica, 28(4): 395~397 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Zhang K, Li D. 1992. Mafic-Ultramafic rocks in Hengduan Mountains region. Beijing: Science Press, 9~130 (in Chinese with English abstract).
- Zhong D. 1998. The Paleo-Tethyan orogenic belts, western Yunnan and Sichun Provinces. Beijing: Science Press: 1~231 (in Chinese).

## 图 版 说 明

## 图 版 I

1. 之用层状角闪辉长岩采样点,注意其中的粗粒的斜长石。
2. 白马雪山枕状玄武岩。
3. 书松蛇绿岩野外露头,照片中白色团块为斜长岩。
4. 书松斜长岩采样点,白色团块为斜长岩,较深色部分为层状、粗粒辉长岩。
5. 娘九丁斜长花岗岩采样点,其中的灰白色脉体为斜长花岗岩,深色部分为块状辉长岩。
6. 雪堆斜长花岗岩野外露头,注意斜长花岗岩与变质橄榄岩的关系,规模和延伸。

7. 雪堆斜长花岗岩采样点,注意它与变质橄榄岩的关系。
8. 吉义独花岗岩闪长岩采样点。

## 图 版 II

1. 之用角闪辉长岩(010-1)中的锆石。
2. 之用角闪辉长岩(010-1)中的锆石。
3. 白马雪山辉长岩(006-1)中的锆石。
4. 书松斜长岩(011-6)中的锆石。
5. 娘九丁斜长花岗岩(007-4)中的锆石。
6. 娘九丁斜长花岗岩(007-4)中的锆石。
7. 雪堆斜长花岗岩(012-3)中的锆石。
8. 吉义独花岗岩闪长岩(002-1)中的锆石。

图版中的圆圈及数字表示分析点中心,及年龄。

## SHRIMP Dating of Carboniferous Jinshajiang Ophiolite in Western Yunnan and Sichuan: Geochronological Constraints on the Evolution of the Paleo-Tethys Oceanic Crust

JIAN Ping<sup>1)</sup>, LIU Dunyi<sup>1)</sup>, SUN Xiaomeng<sup>2)</sup>

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;* 2) *Jiling University, Changchun, 130022*

## Abstract

SHRIMP (sensitive high resolution ion microprobe) zircon U-Pb ages of the Jinshajiang ophiolite, China, have resolved important geological problems. Dating of six samples of gabbro, anorthosite, granodiorite and plagiogranite occurring in the ophiolite along the Jinshajiang River provides geochronological constraints on the evolution of the Paleo-Tethys oceanic crust. In western Yunnan Province, the Zhiyong layered amphibole gabbro is dated at  $328 \pm 8$  Ma, the Susong anorthosite,  $329 \pm 7$  Ma, and the Baimaxueshan gabbro,  $282 \sim 285$  Ma, which might reflect formation ages of the oceanic crust at spreading centers. The study also reveals a few older zircons of c. 375 to 352 Ma from the dated ophiolitic gabbros and anorthosite, indicating that the magmatic activity in this part of Paleo-Tethys ocean started in the late Devonian. In the Jinshajiang ophiolite, the Niangjiuding plagiogranite from Yunnan and the Xuetai plagiogranite from Sichuan are both characterized by high  $\text{SiO}_2$  and low  $\text{K}_2\text{O}$ . However, the rocks have high total REE content, enriched in LREE with high initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  about 0.7058 ~ 0.7070. Inherited zircons also indicate the presence of an older crust component. This evidence suggests that continental contamination was involved in the magma generation and evolution, probably related to the subduction of the ocean crust. The magmatic age of the Niangjiuding plagiogranite is  $285 \pm 6$  Ma and that of the Xuetai plagiogranite is  $300 \pm 5$  Ma, which recorded the subduction-related events. The Jiyidu granodiorite from western Yunnan Province intruded into the ophiolite at  $263 \pm 6$  Ma, which gives the youngest possible age of the ophiolitic complex.

**Key words:** Jinshajiang; ophiolite; SHRIMP dating; zircon

简平等:滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年:  
古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约

图版 I

